



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ALOMA RIBEIRO PIRES

**OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO EPICARPO DO COCO DE
BABAÇU PARA ADSORÇÃO DE POLUENTES EM MEIO AQUOSO**

PALMAS – TO
2021

ALOMA RIBEIRO PIRES

**OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO EPICARPO DO COCO DE
BABAÇU PARA ADSORÇÃO DE POLUENTES EM MEIO AQUOSO**

Monografia apresentada a UFT –
Universidade Federal do Tocantins –
Campus Universitário de Palmas, para a
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Ambiental, sob orientação da
Prof.^a Dr.^a Gláucia Eliza Gama Vieira.

PALMAS – TO

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

P667o Pires, Aloma Ribeiro.
OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DO EPICARPO DO COCO DE BABAÇU. / Aloma Ribeiro Pires. — Palmas, TO, 2021.
42 f.
Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins - Campus Universitário de Palmas - Curso de Engenharia Ambiental, 2021.
Orientadora: Gláucia Eliza Gama Vieira
1. Babaçu. 2. Pirolise. 3. Carvão ativado. 4. Adsorção. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS — A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizada desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.
Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

DEDICATÓRIA

À minha família, por todo amor e apoio.

AGRADECIMENTOS

À Deus que permitiu minha existência e conferiu determinação e sabedoria.

À minha querida mãe Rita Ribeiro dos Reis, por todo apoio, incentivo e exemplo que me deu, por não ter poupado esforços para me ajudar ao longo de toda a minha trajetória.

À minha irmã Alana Ribeiro Pires, pela amizade e atenção dedicadas quando sempre precisei.

Ao meu marido Ellissandro Dias dos Santos, por estar ao meu lado em todos os momentos e por todo o apoio incondicional.

À professora Dr^a. Glaucia Eliza Gama Vieira por ter aceitado e me orientado neste trabalho.

Aos ilustres professores que aceitaram compor a banca examinadora, e a todo o corpo docente do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins, campus Palmas.

E a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

RESUMO

O babaçu (*Attalea spciosa*) é uma planta nativa do Brasil, disseminada por quase todo o interior do Brasil, concentrando sua principal ocorrência em uma vasta área na região norte e nordeste do país. Visando o aproveitamento sustentável do epicarpo de babaçu, que é um resíduo agroindustrial, o presente trabalho teve como objetivo a aplicação de pirólise para obtenção de ecocarvão, a fim de utilizá-lo como material poroso para adsorção de poluentes em meios aquosos. Aplicou-se o processo de pirólise em condições específicas de temperatura, taxa de aquecimento e tempo de residência. O biocarvão (ecocarvão) obtido passou por processo de ativação física, com o propósito de aumentar a área superficial do carvão. Posteriormente, foi utilizado em ensaios de adsorção com o corante azul de metileno e tartrazina em soluções aquosas. Os resultados mostraram bons coeficientes de remoção para o azul de metileno 99,6% (m/m), e capacidade baixa remoção de tartarazina 47,6% (m/m) em comparação.

Palavras-chave: Babaçu; Pirólise; Carvão ativado; Adsorção.

ABSTRACT

Babassu (*Attalea spciosa*) is a plant native to Brazil, spread throughout most of the interior of Brazil, concentrating its main occurrence in a vast area in the north and northeast of the country. Aiming at the sustainable use of the babassu epicarp, which is an agro-industrial residue, this work aimed to apply pyrolysis to obtain ecochar, in order to use it as a porous material for adsorption of pollutants in aqueous media. The pyrolysis process was applied under specific conditions of temperature, heating rate and residence time. Biochar (ecochar) underwent a physical activation process, with the purpose of increasing the surface area of the charcoal. Later, it was used in adsorption tests with methylene blue dye and tartrazine in aqueous solutions. The results moderate good removal coefficients for methylene blue 99.6% (m/m) and low tartarazine removal capacity 47.6% (m/m) in comparison.

Keywords: Babaçu; Pyrolysis; Activated charcoal; Adsorption.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas realizadas	27
Figura 2 – Vista aérea do local de coleta no Distrito de Taquaruçu	28
Figura 3 – Desenho esquemático da unidade de pirólise em escala laboratorial do LEDBIO – UFT	29
Figura 4 – Sistema de ativação	30
Figura 5 – Solução de azul de metileno em diferentes concentrações	31
Figura 6 – Solução de tartrazina em diferentes concentrações	32
Figura 7 – Gráfico da curva de calibração para o teste de azul de metileno em espectrofotômetro	33
Figura 8 – Gráfico da curva de calibração para o teste de tartrazina em espectrofotômetro	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros para os experimentos de pirólise	29
Tabela 2 – Resultado do teste de adsorção com azul de metileno	34
Tabela 3 – Resultado do teste de adsorção tartrazina.	35

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas ASTM – American Society for Testing and Materials

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

LEDBIO – Laboratório de Ensaio e Desenvolvimento em Biomassas e Biocombustíveis

NBR – Normas Técnicas Brasileiras

PCS – Poder Calorífico Superior

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

Temp - Temperatura

UFT – Universidade Federal do Tocantins

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivos geral	16
2.2. Objetivos específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. Sustentabilidade	17
3.2. Biomassa	17
3.3. Coco Babaçu (<i>Attalea speciosa</i>)	18
3.4. Carvão Ativado	19
3.5. Corantes e Efluentes	22
3.6. Adsorção	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. Área de estudo e Coleta	27
4.2. Preparo da Amostra	28
4.2.1. Secagem, trituração e homogeneização	28
4.3. pH do epicarpo de babaçu	28
4.4. Pirólise do epicarpo de babaçu	28
4.4.1. Parâmetros do experimento	29
4.5. Ativação física do ecocarvão	29
4.6. Preparação do carvão comercial	30
4.7. Teste de adsorção com azul de metileno	31
4.8. Teste de adsorção com tartrazina	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1. pH	33
5.2. Ensaio de adsorção com azul de metileno	33
5.3. Ensaio de adsorção com tartrazina	34
6. CONCLUSÃO	37
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e industrial trouxe consigo uma série de benefícios, mas também trouxeram consequências. A contaminação de solos e águas depois da industrialização apenas aumentou, causando desequilíbrio ecológico em ecossistemas naturais ainda não alterados por ação antrópica. Acarretando a geração diversos problemas ambientais, sociais e de saúde, sendo a indústria química uma das maiores responsáveis por este processo. (SILVA et al., 2019).

Corantes são empregados em formulações para melhorar a aparência em diversos produtos, como produtos farmacêuticos, alimentícios, têxtil, entre outros. No entanto, a maior parte da produção mundial dos corantes, que chegam a ser cerca de 700.000 ton/ano, é destinada à indústria têxtil. Dessa forma, estima-se que cerca de 1.000 ton/ano de corantes são descartados junto aos despejos da indústria têxtil, uma vez que boa parte do corante aplicado ao tecido não consegue se fixar nele e é eliminado na água do processo. A cor é o primeiro contaminante a ser reconhecido em águas residuais e a sua presença na água é altamente visível e indesejável, pois além da poluição visual, causam sérios danos à flora e a fauna (SILVA E OLIVEIRA, 2012; JORGE et al., 2015).

O azul de metileno é um corante catiônico muito empregado na indústria têxtil no tingimento de tecidos de algodão e lãs, porém quando não tratado de forma adequada o lançamento não controlado em rios e lagos afeta não só a transparência das águas, mas também limita a passagem de radiação solar diminuindo a atividade fotossintética natural provocando alterações na biota aquática e originando toxicidade aguda e crônica desses ecossistemas (HONORATO et al., 2015).

A tartrazina, também conhecida como acid yellow 23 ou FD+C yellow 5 é um corante sintético com fórmula molecular $C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$ e massa molecular 534,4 g.mol⁻¹. Estudos realizados mostram casos de reações alérgicas a tartrazina como asma, bronquite, rinite, náusea, urticária e dor de cabeça. O seu uso é proibido em países europeus e no Brasil a tartrazina tem uso restrito,

regulado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária, a ANVISA (VIANA, 2013).

A adsorção é uma técnica de separação de um ou mais componentes que são fixados por meio de ligações químicas ou físicas em um meio adsorvente. É uma técnica relativamente simples e, dependendo do material que será o adsorvente, se torna economicamente viável (LARGITTE E PASQUIER, 2016). Assim, diversos materiais, tais como, argilas (SARTORI et al., 2011), bagaço de cana (JORGE et al., 2015) e carvões ativados de diversos materiais precursores, têm sido estudados nos processos de adsorção de contaminantes orgânicos (GONÇALVES, 2007).

Os carvões ativados são muito eficientes na remoção de poluentes orgânicos dissolvidos em meio aquoso, pois, devido a sua estrutura porosa, possui uma elevada área superficial (LARGITE E PASQUIER, 2016). Dois métodos de ativação podem ser empregados, na ativação física é realizado a pirólise que é uma etapa de preparação do material a temperaturas superiores a 400 °C em atmosfera inerte, a fim de eliminar componentes e gases voláteis. Já no método de ativação química, a pirólise é realizada após a impregnação do material com o agente ativante, tais como H_3PO_4 , $ZnCl_2$, KOH , HCl , H_2SO_4 (COSTA et al., 2015). A grande aplicação do processo de pirólise tem sido na produção de carvão vegetal, cujo rendimento pode chegar até 40% em peso, em relação a matéria-prima (SANTIAGO et al., 2002).

Grande parte dos estudos com adsorventes buscam o uso de materiais alternativos de baixo custo que possam ser aplicados na produção de carvão ativado em substituição ao carvão mineral, que tem um valor de mercado elevado. Materiais que possuem um alto teor de carbono podem ser convertidos em carvão ativado e, por conseguinte, serem utilizados como material adsorvente (COSTA et al., 2015).

O babaçu é uma planta nativa do Brasil, disseminada por quase todo o interior do Brasil, desde o estado do Amazonas até o estado de São Paulo. Contudo, são nos estados do Maranhão, Piauí e algumas áreas isoladas no Ceará, Pernambuco e Alagoas, onde se localizam as principais ocorrências dessa palmeira (SILVA et al., 2019). A sua área de ocorrência natural no Brasil é avaliada em cerca de 18 milhões de hectares. Somente a região Nordeste possui uma área de cerca de 14 milhões de hectares com babaçu, sendo que a maior

parte (54,2%) se concentra no Estado do Maranhão.

Essa grande abundância do coco babaçu juntamente com suas características físico-químicas o tornam um material de diversas utilidades, inclusive sendo utilizado como material adsorvente de moléculas químicas. Essa propriedade adsorvente dos subprodutos do babaçu (endocarpo, epicarpomesocarpo, carvões, entre outros), se deve, principalmente, pela característica lignocelulósica dos seus constituintes e pela presença (ou formação) de superfícies mesoporosas. Com isso, o babaçu desponta hoje com um grande potencial em vários âmbitos tecnológicos (SILVA et al., 2019).

Desta forma, este trabalho objetiva aplicar o processo de pirólise, ao epicarpo do babaçu para obtenção do carvão ativado a fim de utilizá-lo como meio adsorvente para tratamento de efluente industrial. Sendo utilizados os corantes azul de metileno e amarelo tartrazina para a análise dessa capacidade adsorvente.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar a aplicação do carvão ativado de babaçu obtido a partir da pirólise do epicarpo do babaçu como material adsorvente de azul de metileno e tartrazina em meio aquoso.

2.2. Objetivos específicos

- Aplicar o processo de pirólise na temperatura de 450°C, taxa de aquecimento de 30°C.min⁻¹ e tempo de retenção de 70 minutos;
- Aplicar o processo de ativação no ecocarvão resultante do processo de pirólise;
- Realizar estudos de adsorção de azul de metileno e tartrazina pelo ecocarvão produzido, comparando os resultados com uso de carvão ativo comercial.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sustentabilidade

A definição de sustentabilidade mais conhecida é a da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento (WCED, 1987), a qual considera que o desenvolvimento sustentável deve satisfazer às necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras. Essa definição deixa claro um dos princípios básicos de sustentabilidade, a visão de longo prazo, uma vez que os interesses das futuras gerações devem ser analisados.

Segundo Mikhailova (2004), o conceito de sustentabilidade está diretamente relacionado aos aspectos sociais, econômicos, ambientais e culturais da sociedade como um todo e, cujo objetivo é a continuidade do desenvolvimento, todavia sem que sejam minimizados ou esgotados os recursos naturais do planeta. Desta forma, a sustentabilidade na dimensão ambiental, ou ecológica, considera os impactos das atividades antrópicas sobre o meio ambiente, na forma de utilização dos recursos naturais, na forma como é realizada a destinação de resíduos agrossilvopastoris, e outros.

Pensando nisso, atualmente, vários países vêm buscando o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis que visam mitigar os impactos causados à natureza. O reaproveitamento de resíduos, como o epicarpo de babaçu, surge neste cenário como uma alternativa sustentável na substituição de recursos naturais finitos para produção de energia e combustíveis.

3.2. Biomassa

A biomassa compreende toda a matéria orgânica vegetal que é produzida através da fotossíntese, tais como: culturas e resíduos agroflorestais e a matéria orgânica contida nos rejeitos domésticos e industriais. A energia desses materiais tem origem nas transformações energéticas a partir da radiação solar. Esse potencial energético pode ser liberado através da queima direta por combustão da biomassa ou processada, com a geração de outras fontes energéticas mais adequadas tais como o álcool, o carvão vegetal e o bio-óleo (PEDROZA, 2011).

A biomassa consiste em elementos como carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, o enxofre está presente em menores proporções e alguns tipos de biomassa contém também porções significativas em espécies inorgânicas (GUEDES et al., 2010). Os produtos químicos obtidos, a partir de coprodutos e resíduos, são os que possuem maior potencial em agregar valor nas cadeias produtivas da biomassa (VAZ JÚNIOR, 2011).

O uso da biomassa como fonte renovável e sustentável de energia, quer como resíduos sólidos urbanos, efluentes industriais ou comerciais e resíduos rurais, permite diversificar a matriz energética nacional, além de reduzir a emissão de gases do efeito estufa. Portanto, a agroenergia trata do conjunto de produtos derivados da biomassa - produzidos ou liberados pela atividade humana ou animal – em fontes energéticas (CARNEIRO, 2012; REGO, 2016).

O uso de materiais adsorventes provenientes de biomassa é atraente devido a sua participação na redução de custos para eliminação de resíduos. Por isso, vários pesquisadores têm buscado materiais de baixo custo para viabilizar novos adsorventes (VIEIRA et al., 2011). De acordo com levantamentos dos trabalhos já publicados, o babaçu é um adsorvente em potencial, tendo nele acumulado um baixo custo de produção e alta disponibilidade (SILVA, et al., 2019).

3.3. Coco Babaçu (*Attalea speciosa*)

O babaçu é um tipo de palmeira da família botânica Aceraceae da subfamília Coccoideae, está presente em diversos países da América Latina. É uma palmeira monocaule de aproximadamente 20 m de altura e estipe liso com um diâmetro de até 41 cm. Encontra-se em formações conhecidas como babaçuais que cobrem cerca de 196 km² distribuídas em quatro regiões brasileiras e 9 estados. É uma planta típica de transição entre o cerrado, floresta amazônica e o semiárido nordestino brasileiro (MACHADO et al., 2006; SOLER et al., 2007; CARAZZA, 2012).

A família Aceraceae possui gêneros *Attalea*, *Scheelea*, *Orbinya*, *Maximiliana* e *Markleya*. As espécies mais conhecidas e que tem o uso mais difundido são a *Attalea phalerata* e *Attalea speciosa*. Dependendo da região, o coco babaçu pode ser conhecido também como coco-palmeira, coco-de-macaco, baguaçu, pindoba, entre outros. Cada palmeira pode produzir até 2.000 frutos,

com época de frutificação anual. Os frutos chegam a pesar entre 40 a 400 gramas de peso seco e são dispostos em cachos (ARAÚJO, 2008 apud MEDEIROS-COSTA, 1985; CARAZZA, 2012; QUEIROGA et al., 2015).

O tempo em que os cachos com os cocos levam para cair é de nove meses. O ideal é que eles sejam coletados em até no máximo 10 dias após sua queda para evitar que sejam infectados por fungos e apodreçam. O trabalho de colheita dos cocos limita-se ao recolhimento dos cocos e ao transporte para o lugar onde serão quebrados, isto é, processados. Alguns frutos devem ser deixados no chão para possibilitar a regeneração da espécie (QUEIROGA et al., 2015).

A composição física do coco babaçu é composta por quatro partes principais. O epicarpo (15%) são fibras resistentes utilizadas principalmente na fabricação de escovas e tapete; o mesocarpo (20%) contém cerca de 20 a 25% de amido; o endocarpo (60%), e as amêndoas (6%), onde mais de 60% é composta por um óleo rico em ácido láurico e o restante corresponde a torta, que é usada principalmente para ração animal (ROSA, 1986; PINHEIRO E FRAZÃO, 1995; WANDECK, 1995; DE MACHADO et al., 2006).

A maior parte do extrativismo do coco babaçu é destinado para produção do óleo vegetal, devido ao crescimento do seu uso na indústria cosmética. No entanto, vem surgindo muitos estudos que visam explorar um maior número de aplicações para o fruto. Araújo (2008) diz que o epicarpo é excelente material para queima direta na geração de vapor e é também uma ótima fonte de fibras. O mesocarpo, material farináceo, que contém 13,8% de amido, gera o etanol, além de encontrar aplicação na alimentação animal. Já o endocarpo fornece carvão de excelente qualidade, tanto para coque como para a síntese de carvão ativado.

Tradicionalmente o processamento do coco babaçu é feito de forma manual, geralmente por mulheres que se autodenominam “quebradeiras de coco” (QUEIROGA et al., 2015). O extrativismo do babaçu envolve o trabalho de mais de 100 mil famílias somente no Maranhão em função dos diversos usos que ele oferece (FIGUEIREDO, 2005 apud QUEIROGA et al., 2015).

3.4. Carvão Ativado

Anualmente cerca de 400.000 toneladas de carvão ativado são produzidas ao redor do mundo a partir de aproximadamente um milhão de toneladas de

diversas matérias primas. Para que a produção de carvão ativado no Brasil se torne expressiva é preciso aperfeiçoar a sua utilização e os diversos precursores carbonáceos existentes no país, para desenvolver melhor tecnologia necessária (CLAUDINO, 2003).

O carvão ativado é preparado a partir de um material carbonáceo poroso que apresenta uma forma microcristalina, não grafitica e sofre um processamento para aumentar a porosidade interna. Em anos recentes, vários estudos relataram a produção de carvão ativado a partir de resíduos, tais como, sementes de frutas (SILVA, 2015), bagaço de cana-de-açúcar (ANDRADE et al., 2018), pneus (ROMBALDO, 2008), madeira (LIMA et al., 2018), cascas de cocos (CAMBUIM, 2009), entre outros. São utilizados extensamente para a adsorção de poluentes em fases gasosas e líquidas, como suporte para catalisadores, na purificação de vários compostos e no tratamento de efluentes. A capacidade de adsorção do carvão ativado depende da natureza do precursor, do tamanho das partículas (grânulos ou pó) e do processo de produção escolhido. A qualidade dos carvões ativados é avaliada em termos de suas propriedades físicas de adsorção e da área superficial (CLAUDINO, 2003; BRUM, 2008).

A maior parte dos materiais carbonáceos possui certo grau de porosidade, com área superficial variando entre 10 e 15 m²/g. No decorrer da ativação a área superficial aumenta com a oxidação dos átomos de carbono. Após a ativação, o carvão pode apresentar área superficial acima de 800 m²/g (CLAUDINO, 2003).

A produção de carvão ativado envolve duas etapas, a carbonização do precursor em atmosfera inerte e a ativação do material carbonizado. A etapa de carbonização consiste no tratamento térmico (pirólise) do precursor sob atmosfera inerte a temperaturas superiores a 400 °C. Nesta etapa são removidos os componentes voláteis do precursor (CO, H₂, CO₂ e CH₄), produzindo uma massa de carbono fixo e uma estrutura porosa primária que favorece a ativação posterior (RAMOS et al., 2009). Na primeira fase do processo de carbonização, que acontece em torno de 170 °C, ocorre a secagem do material. Em uma temperatura acima disto se inicia a degradação parcial das substâncias da matéria prima com a evaporação de monóxido de carbono, dióxido de carbono e outros gases. Acima de 270 °C ocorre a decomposição exotérmica e a formação de alcatrão, que é a fração pesada originada desse processo de pirólise (CAMBUIM, 2009).

O processo de ativação pode ocorrer antes ou após o processo de pirólise e consiste em submeter o material carbonizado a reações secundárias, caracterizada pela retirada de componentes como alcatrão, creosoto e naftas, além de outros resíduos orgânicos que possam obstruir os poros (PEREIRA et al., 2008). Existem dois métodos principais para a ativação do carvão, sendo eles a ativação física e a ativação química. A ativação física consiste na reação de gaseificação do carvão com gases contendo oxigênio combinado, sendo o H_2O e o CO_2 os mais comumente utilizados, ou ainda a mistura de ambos, já que quando submetidos à temperatura superiores a $800\text{ }^\circ\text{C}$ comportam-se como agentes oxidantes. Este processo forma uma estrutura de poro do tipo fenda bastante fina, obtendo assim um carvão mais apropriado para o uso em processos de adsorção de gases (CLAUDINO, 2003; PEREIRA et al., 2008; CAMBUIM, 2009).

Na ativação química a matéria-prima é previamente impregnada com uma solução concentrada do agente ativante a temperaturas entre 400 e $900\text{ }^\circ\text{C}$ (RAMOS et al., 2009). Os agentes ativantes mais comuns são o H_3PO_4 , o $ZnCl_2$, o KOH e o K_2CO_3 . Nesse processo ocorre a ação desidratante do agente ativante sobre o precursor ainda não carbonizado, causando a degradação da celulose, juntamente com outros componentes presentes. A relação entre o peso do ativante e o peso do material seco deve ser considerado, visto que essa razão de impregnação atua na porosidade do produto final onde o agente ativante incorporado no interior das partículas do precursor reage com os produtos da decomposição térmica, reduzindo o desprendimento de substâncias voláteis e inibindo a contração das partículas (CAMBUIM, 2009).

Existem três tipos de carvão ativado, o granular, o fibroso e o pó, e podem ainda ser classificados de acordo com o tamanho e a forma dos seus poros (SCHNEIDER, 2008). Podem conter microporos (diâmetro menor que 20 \AA), mesoporos (diâmetro entre 20 e 500 \AA) e macroporos (diâmetro maior que 500 \AA), em que são essas propriedades que definem se a aplicação como adsorvente é viável ou não (IUPAC, 1997).

Para o caso de tratamento de efluentes líquidos, a ativação química seguida da pirólise é a mais indicada. Segundo Schneider (2008), isto ocorre porque a ativação química altera significativamente as características do carvão produzido resultando na formação dos mesoporos e macroporos, isto é, gera

carvões com poros grandes. Esse tipo de estrutura é importante por ter uma maior contribuição no fenômeno de transferência de massa, pois aumenta a área superficial do carvão ativado, que por sua vez aumenta o contato da partícula com o fluido (BANSAL E GOYAL, 2005).

3.5. Corantes e Efluentes

A importância dos corantes para a civilização humana é bem evidente, visto que muitas indústrias utilizam corantes e pigmentos para colorir seus produtos. São exemplos disso as indústrias de tintas, plásticos, couro, papel, alimentos, entre outras (GUARATINI E ZANONI, 2000). Estima-se que no mundo são produzidas anualmente entre 7×10^5 e 1×10^6 toneladas de corantes artificiais, sendo que 26.500 toneladas são produzidas somente no Brasil (DOTTO et al, 2011). Aproximadamente 10.000 tipos de corantes e pigmentos são utilizados industrialmente. Devido às baixas taxas de fixação ao longo do processamento, uma grande parcela destes corantes é descartada nos efluentes industriais (KUNZ, 2002).

Os corantes são compostos químicos orgânicos que possuem a propriedade de absorver luz visível seletivamente, razão pela qual aparecem coloridos, devido à presença de grupos cromóforos tais como nitro, nitroso, azo e carbonila (KIMURA et al., 1999). A cor desses compostos é intensificada e/ou modificada por grupos auxocromos, tais como etila, nitro, amino, entre outros. A fixação desses corantes é dada através de reações químicas ou da simples insolubilização (KIMURA et al., 1999; GUARATINI E ZANONI, 2000).

Não se sabe ao certo quando se iniciou o uso dos corantes, mas há indicações de seu uso pelo homem desde os primórdios das civilizações. No Egito, por exemplo, muitos dos tecidos encontrados em múmias eram coloridos. No entanto, com a descoberta dos corantes sintéticos nos séculos XVIII e XIX, bem como da influência da cor na aparência e, conseqüentemente, de uma maior aceitação dos produtos pelos consumidores, o interesse das indústrias pelo uso dos corantes artificiais aumentou, dando início a necessidade da remoção destes compostos das águas residuárias do processo, pois a contaminação de rios e lagos com estes compostos provocam, além da poluição visual, sérios danos à fauna e flora destes locais (DALLAGO, SMANIOTTO E OLIVEIRA, 2005; PRADO

E GODOY, 2009). Com suas intensas colorações, os corantes restringem a passagem de radiação solar, diminuindo a atividade fotossintética natural, provocando alterações na biota aquática e causando toxicidade aguda e crônica destes ecossistemas (DALLAGO, SMANIOTTO E OLIVEIRA, 2005).

Um dos grandes consumidores dos corantes são as indústrias têxteis. Esse tipo de atividade industrial é, no contexto mundial, uma das maiores geradoras de efluentes líquidos, consumindo cerca de 15% de toda água doce destinada às indústrias, devido à grande quantidade de água utilizada nos processos. A maior parte dessa água é utilizada no tingimento (52%), seguido pelos processos de preparação (41%), refrigeração (6%) e acabamento (1%). Os efluentes provenientes destas indústrias são complexos, contendo uma ampla variedade de corantes e outros produtos tais como dispersantes, ácidos, bases, sais, detergentes, umectantes, oxidantes, entre outros (PERUZZO, 2003; SILVA, 2005).

Devido a estas implicações ambientais, novas tecnologias têm sido buscadas para a degradação ou imobilização destes compostos em efluentes têxteis, destacando a floculação combinada com flotação e eletroflotação, floculação com Fe(II)/Ca(OH), filtração em membrana, coagulação eletrocinética, destruição eletrocinética, troca iônica e os métodos de tratamento envolvendo a adsorção com o uso de carvão ativado e radiação por ultravioleta (UV) (SILVA, 2005). A remoção da cor pela adsorção é uma tecnologia que tem demonstrado bastante eficiência na subtração da cor, óleos e poluentes orgânicos de efluentes contaminados, principalmente quando o efluente contém baixas concentrações de moléculas de corantes (SILVA, 2005; DOTTO et al, 2011). Neste caso, os métodos convencionais, como o caso da coagulação seguida de separação por flotação ou sedimentação, que para remover corantes são economicamente desfavoráveis e/ou tecnicamente complicados. Assim, o processo de adsorção surge como alternativa para a remoção de corantes de efluentes (KUNZ, 2002).

Dentre os corantes mais utilizados no mundo, o azul de metileno $C_{16}H_{18}ClN_3S$ tem ganhado espaço nas diferentes áreas de pesquisas, podendo ser usado como traçador de águas contaminadas em estudos de adsorção para tratamento de efluentes têxteis, na verificação do nível de bactérias no leite, nas análises de ácido ascórbico, detergentes, percloratos e peróxidos, entre outras funções (LONGHINOTTI, 1996). É um corante aromático heterocíclico solúvel em

água ou álcool, é pouco tóxico e absorve intensamente na região do UV-visível ($\lambda_{\text{máx}} = 664 \text{ nm}$ em água). Possui a tendência de formar agentes agregadores, que altera a eficiência da fotossensibilização, diminuindo a quantidade de oxigênio singleto gerada na presença de um estímulo luminoso. Esse fenômeno pode ser minimizado pela inclusão de substitutos na estrutura, que podem ser carregados positiva ou negativamente, em virtude da repulsão eletrostática, aumentando a hidrofiliabilidade do corante, ou seja, a afinidade do corante com a água (LIMA et al. 2007).

Apesar de sua baixa toxicidade, a remoção do azul de metileno de águas ou efluentes é bastante estudada devido ao fato desse corante apresentar-se como uma molécula modelo com as bandas de absorção de suas diferentes espécies (monômeros, dímeros, agregados e espécies protonadas) bem conhecidas e em regiões distintas do espectro (LEAL, DOS ANJOS E MAGRIOTIS, 2011).

O ensaio de azul de metileno é definido como a quantidade de azul de metileno descolorida por unidade de massa de carvão ativo ou pela porcentagem do composto adsorvido, em função da absorbância lida no espectrofotômetro. A análise de azul de metileno pode ser utilizada para estimar a mesoporosidade de um adsorvente carbonoso (MOURA, 2015). Uma vez que este corante é tóxico na natureza, a sua remoção da mesma é um grande problema ambiental (BUKALLAH *et al.*, 2007).

O corante amarelo tartrazina ($\text{C}_{16}\text{H}_9\text{N}_4\text{Na}_3\text{O}_9\text{S}_2$) pertence ao grupo de azo corantes e é um corante com coloração amarela, obtido através da tinta do alcatrão de carvão. É um corante empregado na indústria alimentícia (principalmente em balas, refrigerantes), indústria farmacêutica (medicamentos como AAS) e indústria de cosméticos (perfume, shampoo, condicionador) PRADO E GODOY, 2003. Dentre os azo corantes, o amarelo tartrazina se mostra como foco de estudo para os toxicologistas e alergistas, pois pode causar alergia, asma, urticárias.

3.6. Adsorção

A adsorção de compostos orgânicos em carvão ativado é uma das tecnologias mais importantes utilizadas para tratamento de efluentes industriais

(SILVA, 2006). Geankoplis (1998) descreve o processo de adsorção de um ou mais componentes como um processo físico-químico de separação, em que um fluxo de gás ou líquido percola um leito de partículas sólidas que adsorvem os componentes do fluido. Dito isso, têm-se então a definição de adsorvente, sendo então um sólido que mantém o soluto na sua superfície pela ação de força física ou química onde a substância adsorvida é denominada adsorvato. Desta forma, acontece a transferência seletiva de componente da fase fluida para a fase sólida, ocorrendo apenas um fenômeno de separação que é caracterizado pela transferência de massa e que possui como principais mecanismos presentes no processo a difusão do soluto do seio da fase fluida para a superfície do adsorvente (difusão no filme líquido estagnado), a adsorção do soluto na superfície do adsorvente e a difusão do soluto nos poros do adsorvente. (SCHIMMEL, 2008; BORBA et al., 2008).

Definidos os conceitos básicos, pode-se dividir o processo de adsorção em dois tipos, a adsorção física e a adsorção química. A adsorção física (fisissorção) ocorre quando as forças intermoleculares de atração entre as moléculas da fase fluida e da superfície sólida são maiores que as forças existentes entre as moléculas do próprio fluido (SCHIMMEL, 2008). É dada principalmente pela força de van der Waals e pela força eletrostática entre as moléculas de adsorvato e os átomos que compõem a superfície adsorvente (SUZUKI, 1989). Por ser completamente reversível, proporciona o reuso (regeneração) do adsorvente. Outro aspecto importante é que a adsorção física pode acontecer em múltiplas camadas, sendo sempre exotérmica e caracterizada por um processo espontâneo, pois ocorre redução na energia livre superficial do sistema (SCHIMMEL, 2008). Já o processo de adsorção química (quimissorção) é praticamente irreversível e dificilmente o adsorvente poderá ser reutilizado. Nesse fenômeno ocorrem ligações químicas entre as moléculas do adsorvente e do adsorvato, envolvendo transferência de elétrons entre eles. Ocorre em uma única camada e geralmente após a adsorção física. É um processo endotérmico, ou seja, um aumento na temperatura favorece a adsorção (SCHIMMEL, 2008).

Existem diversas vantagens na utilização do processo de adsorção como tratamento de efluentes em comparação com outras operações unitárias. A adsorção em meio líquido, por exemplo, tem uma baixa necessidade energética e sua implementação e operação são relativamente fáceis. Há também uma

variedade de materiais que podem ser usados como adsorvente, e que ainda, podem ser regenerados e reutilizados diversas vezes, o que torna a adsorção uma operação de baixo custo. Além disso, a adsorção é eficiente, uma vez que pode remover todo o adsorvato da solução. Por outro lado, após a adsorção, uma operação unitária adicional, exemplo filtração, sedimentação ou centrifugação, pode ser necessária para fornecer uma boa separação sólido-líquido. Outra desvantagem é o alto custo de produção do carvão ativado que é o meio adsorvente mais comumente utilizado (BONILLA-PETRICIOLET et al., 2017).

Os sistemas de adsorção podem ser operados em regime de batelada ou contínuo. No sistema contínuo são utilizadas colunas de leito fixo que operam por meio de ciclos de regeneração. Já os sistemas batelados são, geralmente, empregados em tanques de mistura. Em vista disto, a construção de um modelo matemático para representar a dinâmica de adsorção requer um balanço de massa do sistema em que equações que representam apropriadamente os dados dos efeitos cinéticos, de equilíbrio e termodinâmicos devem estar presentes (BORBA et al., 2008).

No que se refere aos efeitos cinéticos, é possível saber a velocidade com que o processo ocorre, fatores que o afetam, o tempo de permanência necessário para a sua conclusão. Além disso, é possível determinar as etapas de controle da taxa de transferência de massa. Os modelos cinéticos mais utilizados são os pseudo primeira ordem, pseudo segunda-ordem e difusão intrapartículas (DOTTO et al., 2015).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas empregadas para caracterização do babaçu e de subprodutos gerados a partir do processo de pirólise empregado. A metodologia de cada etapa será descrita nos próximos itens.



Fonte: o autor (2021).

4.1. Área de estudo e Coleta

As amostras de babaçu foram coletadas manualmente no distrito de Taquaruçu, no município de Palmas (TO), coordenadas UTM 22L 0813678 N, 8857122 com elevação de 424m e foram levados ao Laboratório de Ensaio e Desenvolvimento em Biomassa e Biocombustíveis (LEDBIO), localizado na Universidade Federal do Tocantins.

Figura 2 – Vista aérea do local de coleta no Distrito de Taquaruçu.



Fonte: Google Earth (2021).

4.2. Preparo da Amostra

4.2.1. Secagem, trituração e homogeneização

Após coletado o babaçu, o mesmo foi aberto e extraído o epicarpo que passou por um processo de secagem em estufa 60 °C até atingir peso constante, para que perdesse parte de seu volume líquido. Seguidamente a biomassa residual à secagem foi triturada em moinho de facas (marca MARCONI, modelo MA 630/1), e homogeneizada em sistema de peneiras granulométricas de abertura de 0,59mm (Tyler 28, ASTM 30).

4.3. pH do epicarpo de babaçu

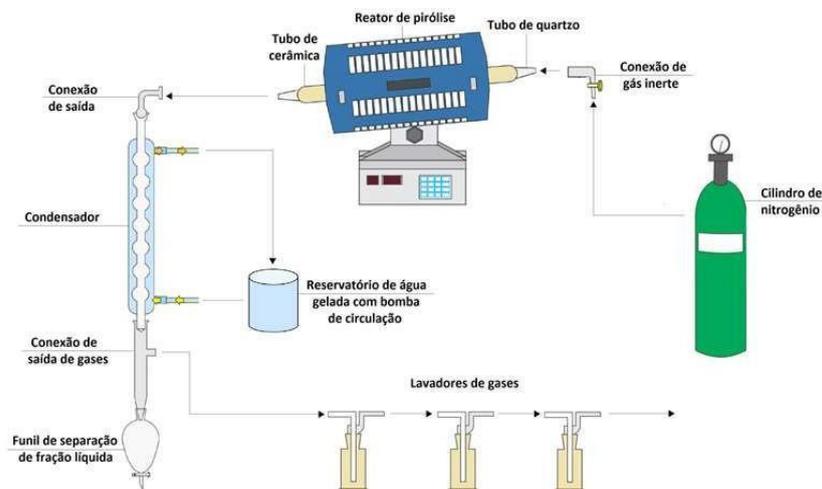
Foram pesadas 2,000g de amostra da fração sólida ativada e do carvão comercial (Tobasa), foram transferidas para erlenmeyers contendo aproximadamente 110 ml de água destilada quente, que foram posteriormente a ebulição por 900s, de acordo com a norma ASTM D3838-80. Posteriormente as amostras foram filtradas e resfriadas a 50°C a determinação do pH com phmetro da marca Quimis.

4.4. Pirólise do epicarpo de babaçu

O processo de pirólise aplicado ao epicarpo de babaçu foi realizado em escala laboratorial no Laboratório de Ensaio e Desenvolvimento de Biomassa e Biocombustíveis - LEDBIO em reator de leito fixo, um forno elétrico da marca

EDG FTHI-40 bipartido conforme representado em esquema na Figura 3.

Figura 3 – Desenho esquemático da unidade de pirólise em escala laboratorial do LEDBIO – UFT



Fonte: Teixeira (2014).

4.4.1. Parâmetros do experimento

O processo de pirólise foi realizado seguindo dos parâmetros de aquecimento, tempo de residência e temperatura, conforme citado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Parâmetros para os experimentos de pirólise

Amostra	Temperatura	Tempo de residência	Taxa de aquecimento
Epicarpo	450°C	70 min	30°C/min

Fonte: o autor (2021).

4.5. Ativação física do ecocarvão.

O sistema de ativação física foi montado anexo ao reator cilíndrico de leito fixo, constituído de uma rolha de silicone e um recipiente com água em Banho Maria (Figura 3). Para que o fluxo de vapor d'água fosse garantido, junto ao recipiente foi inserido um fluxo de gás inerte (Nitrogênio).

As condições utilizadas na ativação física foram escolhidas em razão do trabalho desenvolvido por Carvalho (2012), que investigou a ativação física com vapor de água da fração sólida oriunda do processo pirolítico, o parâmetro

utilizado neste trabalho foi: temperatura de 600°C, taxa de aquecimento de 30°C/min e tempo de retenção de 120 min.

O sistema de aquecimento é realizado em banho Maria a uma temperatura de 120°C, em virtude da perda troca de calor entre os recipientes. A ligação entre o tubo e o recipiente com vapor d'água é feita por uma rolha, com um furo central, permitindo assim uma distribuição uniforme do vapor na entrada do tubo. Como gás de arraste foi utilizado o nitrogênio, permitindo que o vapor d'água seja arrastado para dentro do tubo e expanda-se, gerando por consequência, interação do vapor com a amostra. Como pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 – Sistema de ativação



Fonte: o autor (2021).

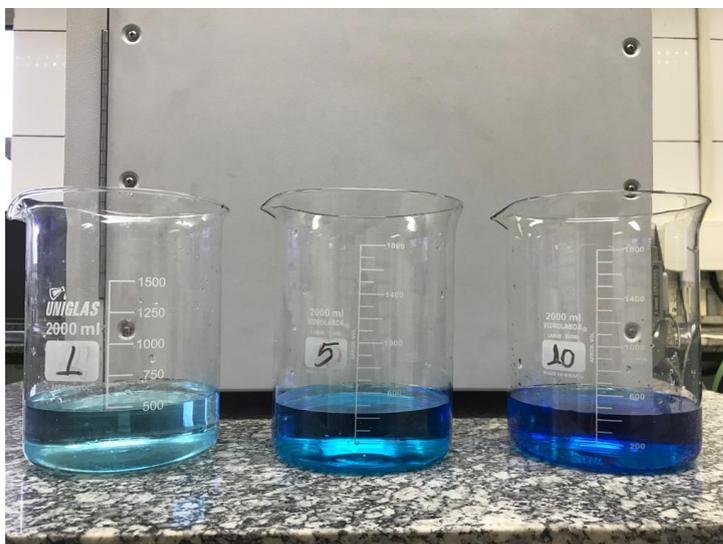
4.6. Preparação do carvão comercial.

Foram utilizados dois tipos de carvão comercial ativado para comparação com o Biochar, um da marca Filtrai, e o outro da Tobasa. Ambos foram triturados e separados por granulometria utilizando a peneira de Tyler que corresponde ao MESH 28, com abertura de 0,59 mm, de acordo com o trabalho desenvolvido por Colen (2011), que investigou a melhor granulometria das biomassas para procedimentos de caracterização físico-química.

4.7. Teste de adsorção com azul de metileno.

O teste de adsorção foi realizado de acordo com a metodologia descrita pela ASTM D2652-76. Este teste de adsorção foi realizado em triplicata para fração sólida ativada e para o carvão comercial. Em um erlenmeyer de 50 mL, foram pesados 1000 mg de amostra do biocarvão. Em seguida foi adicionada essa amostra em soluções de 1, 5 e 10 mg/L de azul de metileno (Figura 5), em sistema de agitação à temperatura de 25 °C por uma hora. Ao final da agitação, as soluções foram levadas a uma centrífuga para separação do sólido e da solução, por 5 min a 2500 rpm. Para a quantificação do adsorbato, que são as moléculas que sofreram adsorção, a solução de azul de metileno foi encaminhada a um espectrofotômetro, da marca Biospectro (modelo SP-220), antes e depois do teste, sob luz visível com comprimento de onda de 665 nm (adsorção máxima do azul de metileno). Foi utilizado azul de metileno P.A. da marca Dinâmica, nº 7220-79-3.

Figura 5 – Solução de azul de metileno em diferentes concentrações.



Fonte: o autor (2021).

4.8. Teste de adsorção com tartrazina.

Foi utilizado o corante comercial da marca ARCOLOR, tendo como composição apenas sacarose e tartrazina. A separação da tartrazina foi feita por granulometria em um processo de peneiramento, conforme mostra a Figura 6. Este teste de adsorção foi adaptado da metodologia da ASTM D2652-76, para

ser utilizado no corante amarelo tartrazina. Dessa forma, o teste de adsorção foi realizado em triplicata para fração sólida ativada e para ambos os carvões comerciais. Em um erlenmeyer de 50 mL, foram pesados 1000 mg de amostra do biocarvão. Em seguida foi adicionada essa amostra em soluções de 5, 10 e 20 mg/L de tartrazina. O processo de adsorção ocorreu em sistema de agitação à temperatura de 25 °C por uma hora. Ao final da agitação, as soluções foram levadas a uma centrífuga para separação do sólido e da solução, por 5 min a 2500 rpm. Para a quantificação do adsorbato, a solução de Tartrazina foi encaminhada a um espectrofotômetro, da marca Biospectro (modelo SP-220), antes e depois do teste, sob luz visível com comprimento de onda de 426 nm (adsorção máxima da tartrazina).

Figura 6 – Solução de tartrazina em diferentes concentrações.



Fonte: o autor (2021).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

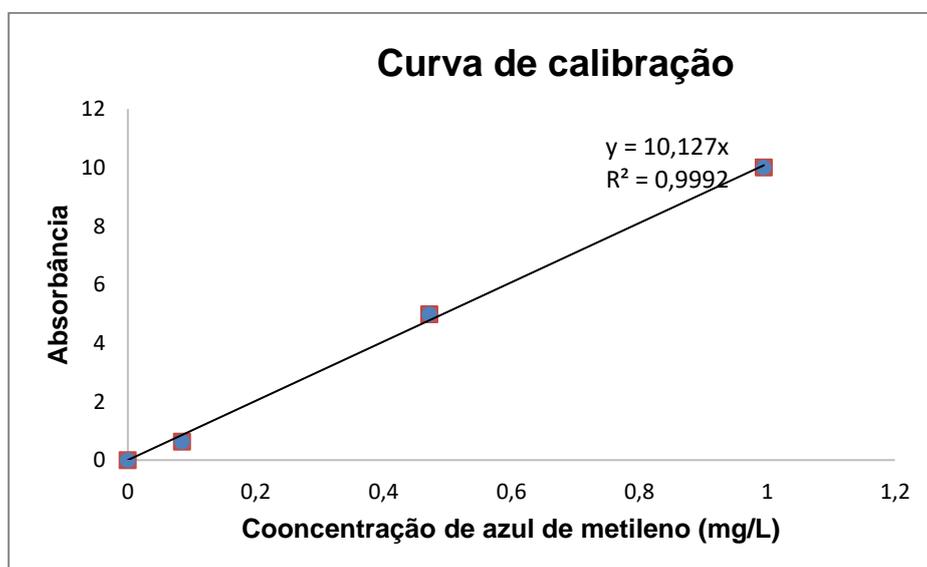
5.1. pH

O ecocarvão obtido, após passar por processo de ativação, apresentou pH médio de 7,16. O carvão ativado comercial (tobasa) apresentou um valor médio de pH de 7,20. Sabe-se que o pH exerce influência na adsorção pois atua na ionização de compostos ácidos e básicos. Essa influência pode ser significativa ou não, conforme o adsorvente, já que suas cargas dependem das características e composição de sua superfície. O ecocarvão deste trabalho e o carvão ativado comercial (tobasa) apresentaram condições neutras.

5.2. Ensaio de adsorção com azul de metileno

O ensaio de azul de metileno é definido como a quantidade de azul de metileno descolorida por unidade de massa de carvão ativo ou pela porcentagem do composto adsorvido, em função da absorbância lida no espectrofotômetro. A análise de azul de metileno pode ser utilizada para estimar a mesoporosidade de um adsorvente carbonoso (MOURA, 2015). Uma vez que este corante é tóxico na natureza, a sua remoção da mesma é um grande problema ambiental (BUKALLAH *et al.*, 2007).

Figura 7 – Gráfico da curva de calibração para o teste de azul de metileno em espectrofotômetro



A análise do poder de adsorção do azul de metileno no carvão ativado comercial (tobasa) e no ecocarvão foram equivalentes. O ecocarvão teve a adsorção média máxima de 99,69% e o carvão comercial (tobasa) apresentou uma média de 96,61%, ambos para a concentração de 10mg/L. Esses resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultado do teste de adsorção com azul de metileno

Adsorvente	Concentração de azul de metileno (mg/L)	Quantidade adsorvida (mg)	Percentual de adsorção (%)
Ecocarvão ativado (epicarpo)	1	0,635	63,52
	5	4,987	98,72
	10	9,997	99,69
Carvão ativado comercial (Tobasa)	1	0,735	73,52
	5	4,919	91,87
	10	9,963	96,61
Ecocarvão ativado (amêndoa) Fonte: PIBIC 2018	1	0,996	99,60
	5	4,996	99,92
	10	9,998	99,98
Ecocarvão ativado comercial (Filtraí) Fonte: PIBIC 2018	1	0,884	88,41
	5	4,939	98,78
	10	8,938	99,38

A partir desse resultado fica clara a capacidade adsortiva do ecocarvão em estudo, na região dos mesoporos e macroporos, o que é confirmado pela literatura em trabalhos como o de Biscola (2019), que encontrou resultados de adsorção de azul de metileno de 97% em ecocarvão de babaçu. Tramontim *et al.* (2011) encontrou variação de 92,13% a 96,63% em finos de carvão pirolisados entre 200 °C e 700 °C.

Para o ecocarvão ativado as adsorções nas concentrações de 5 e 10 mg/L foram equivalentes às do carvão comercial ativado e as adsorções na concentração de 1 mg/L também não apresentaram diferença significativa entre elas.

5.3. Ensaio de adsorção com tartrazina

A adsorção da tartrazina se mostrou compatível com o discutido em literatura, apesar de serem poucos os trabalhos que apresentam resultados de adsorção para ecocarvão, já que o maior destaque de aplicação deste é para a

agricultura (VIANA 2013). Os resultados estão relacionados na tabela 3.

Figura 8 – Gráfico da curva de calibração para o teste tartrazina em espectrofotômetro

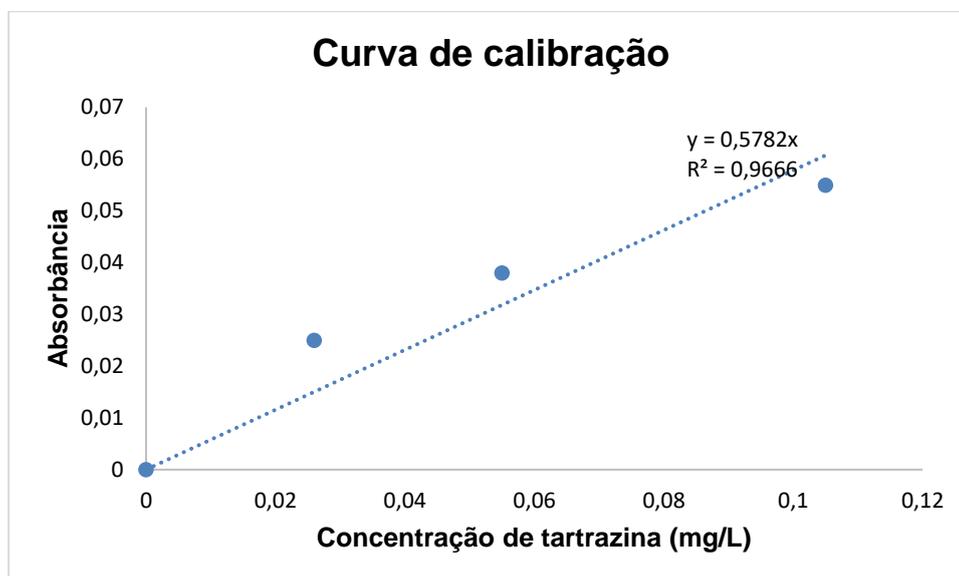


Tabela 3 - Resultado do teste de adsorção com tartrazina

Adsorvente	Concentração de tartrazina (mg/L)	Quantidade adsorvida (mg)	Percentual de adsorção (%)
Ecoarvão ativado (epicarpo)	5	0,1923	3,84
	10	3,0909	30,90
	20	9,5238	47,61
Carvão ativado comercial (Tobasa)	5	0,8653	17,30
	10	4,4182	41,81
	20	13,5238	67,61
Ecoarvão ativado (amêndoa) Fonte: PIBIC 2018	5	4,947	99,01
	10	9,862	98,62
	20	19,666	98,33
Ecoarvão ativado comercial Fonte: PIBIC 2018	5	4,846	96,92
	10	9,837	98,37
	20	19,781	98,90

Através da grande diferença de tamanho do amarelo tartrazina (534,26 g/mol⁻¹) e do azul de metileno (319,85 g/mol⁻¹), é notável diferente desempenho na adsorção pelo ecoarvão.

A média dos resultados de adsorção para tartrazina nos substratos não ativados são apresentados na Tabela 3, obtendo adsorção máxima de 47,6% para o ecoarvão ativado, enquanto o carvão comercial ativado (tobasa) apresentou 67,6%. Viana (2013) analisou a adsorção da tartrazina em ecoarvão

de pirólise a 500 °C e 120 min, em várias concentrações. Seus resultados apontam a média de 60% de adsorção nos ecocarvões e 68% no carvão comercial em concentrações mais baixas, estas médias são inferiores às encontradas neste trabalho.

6. CONCLUSÃO

O epicarpo de babaçu, usado neste trabalho, mostrou ser uma alternativa para o aproveitamento como adsorventes carbonosos a partir da pirólise, pois utiliza um resíduo como matéria prima.

O ecocarvão de epicarpo de babaçu possibilitou uma boa adsorção do corante azul de metileno quando comparado ao carvão comercial, que sempre é utilizado para remoção de corantes em efluentes por apresentar excelente capacidade adsorptiva, mas possui alto custo. Os resultados da adsorção com azul de metileno também destacam a característica desejada de mesoporosidade e macroporosidade do ecocarvão ativado de babaçu, indicando possibilidade de adsorver corantes com moléculas com tamanhos que estejam dentro dessa faixa apresentada.

O estudo também mostrou que o ecocarvão de epicarpo de babaçu não possibilitou uma boa adsorção do corante orgânico amarelo tartrazina na condição ativada.

Desse modo, tem-se a utilização de um resíduo como o epicarpo de babaçu, mediante aplicação de tecnologia apropriada, na geração de um produto eficiente e de baixo custo para remoção de corantes em meio aquoso. Isso também possibilita trazer um conceito de maior sustentabilidade aos adsorventes utilizados no tratamento de efluentes.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 10.007 - **Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ANDRADE, K. A. A. C. et al. **Clarificação do caldo de cana por meio de carbonos ativados feitos a partir do bagaço da cana-de-açúcar**. In: 12^o Encontro Brasileiro de Adsorção. Gramado-RS, 2018.

ARAÚJO, E. C. E. Estado da arte e potencial do babaçu para a agroenergia. In: **Embrapa Meio-Norte-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 5.; CLÍNICA TECNOLÓGICA EM BIODIESEL, 2., 2008, Lavras. Biodiesel: tecnologia limpa. Anais Lavras: UFLA, 2008.

ASTM D130. **Standard Test Method for Corrosiveness to Copper from Petroleum Products by Copper Strip Test**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

ASTM D2415. **Standard Test Method for ash Determination**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 1986.

BANSAL, R.C.; GOYAL, M. **Activated Carbon Adsorption**. Taylor & Francis Group, p. 497, 2005.

BISCOLA, T. A. **Influência das condições de aplicação do carvão ativado pulverizado na eficiência de remoção de azul de metileno no tratamento em ciclo completo**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso de Pós-Graduação - Departamento de Tecnologia Ambiental, UNAERP, Ribeirão Preto.

Bonilla-Petriciolet. A. et al. **Adsorption Processes for Water Treatment and Purification**. Instituto Tecnológico de Aguascalientes. México, 2017.

BORBA, C. E. et al. Estudo da cinética e do equilíbrio de adsorção dos corantes azul turquesa QG e amarelo reativo 3R em carvão ativado. **Engevista**, v. 14, n. 2, 2011.

BRUM, S. S. et al. Preparação e caracterização de carvão ativado produzido a partir de resíduos do beneficiamento do café. **Química Nova**, v. 31, n. 5, p. 1048-1052, 2008.

BUKALLAH, S. B.; RAUF, M. A.; ALALI S. S. Removal of Methylene Blue from aqueous solution by adsorption on sand. **Dyes and Pigments**, v. 74, p. 85-87, 2007.

CAMBUIM, K. B. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com H₃PO₄ e fisicamente com vapor d'água: produção**,

caracterização e aplicações. 2009. Tese de Doutorado. Tese de Doutorado (Doutorado em Química) – Departamento de Química, UFPB, João Pessoa.

CARVALHO, M. B. **Avaliação do processo de ativação física e da capacidade de adsorção da fração sólida obtida a partir da pirólise de lodo de esgoto digerido doméstico.** 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2012.

CARRAZZA, L.R.; Ávila, J.C.C.; Silva, M.L. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto e da Folha do Babaçu (Attalea Spp).** 2ª edição Brasília. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN). Brasil, 2012. 68p.

CERRATINGA - Espécies do cerrado - Babaçu. Disponível em: <<http://www.cerratinga.org.br/babacu/>>. Acesso em: 18/03/2021.

CLAUDINO, A. et al. **Preparação de carvão ativado a partir de turfa e sua utilização na remoção de poluentes,** 2003.

COLEN, A. G. N. **Caracterização físico-química e química do lodo de esgoto para aplicação como fonte de energia em processo de pirólise.** 2011. 159f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas.

COSTA, P. D.; FURMANSKI, L. M.; DOMINGUINI, L. Produção, caracterização e aplicação de carvão ativado de casca de nozes para adsorção de azul de metileno. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1272-1285, 2015.

DOTTO, G. L.; SHARMA, S. K.; PINTO, L. A. A. Biosorption of organic dyes: research opportunities and challenges. **Green Chemistry for Dyes Removal from Wastewater: Research Trends and Applications**, p. 295-329, 2015.

GEANKOPLIS, C. J. **Procesos de transporte y operaciones unitarias.** Compañía Editorial Continental, 1998.

GONÇALVES, M. et al. Produção de carvão ativado a partir de resíduo de erva-mate para a remoção de contaminantes orgânicos de meio aquoso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 5, p. 1386-1391, 2007.

GUEDES, C. L. B. et al. Avaliação de biocombustível derivado do bio-óleo obtido por pirólise rápida de biomassa lignocelulósica como aditivo para gasolina. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 781-786, 2010.

GUILARDUCI, V. V. S. et al. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Quim. Nova**, v. 29, n. 6, p. 1226-1232, 2006.

IUPAC Recommendations. **Pure and Applied Chemistry**, v. 57, n. 4, p. 603-619, 1985.

HONORATO, A. C. et al. Biossorção de azul de metileno utilizando resíduos agroindustriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 7, jul. 2015.

JORGE, I. R.; TAVARES, F. P.; SANTOS, K. G. dos. Remoção do corante azul de metileno no tratamento de efluentes por adsorção em bagaço de cana de açúcar. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 491-500, 2015.

LARGITTE, L.; PASQUIER, R. A review of the kinetics adsorption models and their application to the adsorption of lead by an activated carbon. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 109, p. 495-504, 2016.

LIMA, J. P. et al. **Estudo cinético de adsorção do azul de metileno utilizando carvão oriundo da casca de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum*)**. In: 12^o Encontro Brasileiro de Adsorção. Gramado-RS, 2018.

MACHADO, G. C.; CHAVES, J. B.; ANTONIASSI, R. Composição em ácidos graxos e caracterização física e química de óleos hidrogenados de coco babaçu. **Revista Ceres**, v. 53, n. 308, 2006.

MIKHAILOVA, I. Sustentabilidade: Evolução dos Conceitos Teóricos e os Problemas da Mensuração Prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, p. 22-41, 2004.

MOURA, J. S. **Lodo de esgoto como precursor de adsorvente carbonoso a partir do processo de pirólise**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins – Tocantins, 2015.

PEDROZA, M. M.. **Bio-óleo e Biogás da degradação termoquímica de lodo de esgoto doméstico em cilindro rotativo**. 2011. 192 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

PEREIRA, E. et al. Preparação de carvão ativado em baixas temperaturas de carbonização a partir de rejeitos de café: utilização de FeCl₃ como agente ativante. **Química Nova**, v. 31, n. 6, p. 1296-1300, 2008.

PRADO, M. A.; GODOY, H. T. **Corantes artificiais em alimentos**. **Alim. Nutr., Araraquara**, v. 14, n. 2, p.237-250, 2003.

QUEIROGA, V. de P. et al. Composição centesimal de amêndoas de coco babaçu em quatro tempos de armazenamento. **Embrapa Algodão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2015.

RAMOS, P. H. et al. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química Nova**, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009.

REGO, F. S. **Aproveitamento do lodo de esgoto digerido para geração de energia elétrica.** 2015. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) – Universidade Federal do Tocantins – Tocantins, 2016.

ROMBALDO, C. F. S. **Síntese de carvão ativado e óleo combustível a partir de borracha de pneu usado.** Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Engenharia de Processos, 2008.

SANTIAGO, B. H. S. et al. Conservação e cogeração de energia com produção de biocombustíveis derivados da lenha. **Enc. Energ. Meio Rural**, An. 4, 2002.

SARTORI, R. A. et al. Adsorção do corante azul de metileno em partículas de argilominerais: análise dos tamanhos das partículas. **Química nova**, v. 34, n. 4, p. 584-588, 2011.

SCHNEIDER, L. **Adsorção de compostos fenólicos sobre carvão ativado**, 2008.

SCHIMMEL, D. et al. **Adsorção dos corantes reativos azul 5G e azul turquesa QG em carvão ativado comercial**, 2008

SILVA, J. S. da. et al. Subprodutos do babaçu (*Orbignya sp*) como novos materiais adsorptivos: uma revisão. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 3, set. 2019.

SILVA, R. V. T. O. **Resíduos de coco, acerola e caju para produção de carvão ativado**, 2015.

SILVA, V. V. S. et al.; Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química Nova**, dezembro, 2006.

SOLER, M. P.; VITALI, A. A.; MUTO, E. F. Tecnologia de quebra do coco babaçu (*Orbignya speciosa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 4, 2007.

SUZUK, L. M. **Adsorption engineering.** KODANSHA LTD, Tokyo, vol 25, 1941.

VAZ JÚNIOR, S. **Biorrefinarias: cenários e perspectivas.** Brasília: Athalaia, 2011.

VIANA, M. M. **Obtenção e utilização de produtos de pirólise de lodo de esgoto para adsorção de poluente em meio aquoso.** 2013. 219 f. Tese (Doutorado em engenharia química). Departamento de Engenharia Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Cap. 2.

VIEIRA, G. E. G.; PEDROZA, M. M.; SOUSA, J. F.; PEDROZA, C. M. O processo de Pirólise como alternativa para o aproveitamento do potencial energético de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato.** Novo

Hamburgo. v. 12, p. 01-106, Jun. 2011.

WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENTAL AND DEVELOPMENT (WCED). **Our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987.

YUAN, X.; HUANG, H.; ZENG, G.; Li, H.; WANG, J.; ZHOU, C.; ZHU, H.; PEI, X.; LIU, Z. Total concentrations and chemical speciation of heavy metals in liquefaction residues of sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 5, n.102, p. 4104-4110, 2011.